

## **ОТНОСНО БЕЗОПАСНОСТТА НА ДВИЖЕНИЕТО И ВЛИЯНИЕТО НА ТРАФИКА И ИНФРАСТРУКТУРАТА ВЪРХУ НЕЯ**

**Николай Георгиев, Виолина Вельова**  
[ngeorgiev@vtu.bg](mailto:ngeorgiev@vtu.bg), [vili\\_tuk@abv.bg](mailto:vili_tuk@abv.bg)

**Висше транспортно училище „Тодор Каблешков”  
1574 София, ул. Гео Милев № 158  
БЪЛГАРИЯ**

**Ключови думи:** транспорт, пътна безопасност, инфраструктура, подходи и методи

**Резюме:** Според статистиката в български условия, най-честите пътнотранспортни произшествия са свързани с удар между различни участници в пътното движение. Най-често възникващите произшествия са от следните типове: удар между две и повече моторни превозни средства, удар на уязвим участник в движението - пешеходец, велосипедист, мотоциклетист, произшествия с участието на едно превозно средство (удар в елемент от инфраструктурата или обкръжаващата среда). Позицията на България спрямо другите държави в Европейския съюз налага обстойното разглеждане на всички възможностите за подобряване на пътната безопасност.

В настоящата статия са разгледани и проучени основните фактори влияещи на безопасността, свързани с взаимовръзките между водач, автомобил, път и околна среда. Представени са в обобщен вид съществуващи методи за оценка на пътната безопасност, използвани в световната практика. На база на разгледани литературни източници е представена последователността от операции, която е необходимо да бъде спазена за успешното създаване на работещи модели за прогнозиране на произшествията. Предложени са два типа модели със съответния брой показатели за прогнозиране на произшествията: съответно за произшествия със загинали и ранени с участието на превозни средства на четириклонни кръстовища със светофарна уредба и за произшествия със загинали и ранени с участието на превозни средства на триклонни регулирани с пътни знаци кръстовища в град София.

### **1. ВЪВЕДЕНИЕ**

В настоящата статия са представени в обобщен вид факторите, влияещи върху възникването на произшествия и са представени на база на предварително разгледани литературни източници резултати за модели за прогнозиране на произшествията в български условия. В тази връзка са разгледани различни подходи и модели за управление на безопасността.

България е на последно място по безопасност през 2015 г. сред другте европейски държави, което е показателно за необходимостта от изследване на

причините за възникване на произшествията [1]. Според статистиката в български условия, най-честите пътнотранспортни произшествия са свързани с удар между различни участници в пътното движение. Най-често възникващите произшествия са от следните типове: удар между две и повече моторни превозни средства, удар на уязвим участник в движението - пешеходец, велосипедист, мотоциклетист, произшествия с участието на едно превозно средство (удар в елемент от инфраструктурата или обкръжаващата среда) [2]. Позицията на България спрямо другите държави в Европейския съюз налага обстойното разглеждане на всички възможности за подобряване на пътната безопасност.

В настоящата статия са разгледани основните влияещи на безопасността фактори, в това число обема на трафика и влиянието на инфраструктурата върху възникването на произшествия.

## **2. ПОДХОДИ И МЕТОДИ, СВЪРЗАНИ С ОЦЕНКАТА НА БЕЗОПАСНОСТТА НА ПЪТНОТО ДВИЖЕНИЕ**

### **2.1. Концепция за управление на безопасността и основни фактори, влияещи на безопасността на пътното движение**

Повечето събития и условия, които влияят върху безопасността имат стохастичен характер и обикновено мероприятията за подобряване на ситуацията не довеждат до пълното елиминиране на риска.

Концепцията за управление на безопасността включва следните нови подходи:

- *Проактивен подход към проблемите на безопасността* – състои се в надграждане на традиционния подход на планирани одити и разработването и прилагането на процедура за управление на риска. При този подход се прилага концепцията за системна безопасност [3,4,5,6]. *Системата за управление на безопасността* трябва да поддържа: *политика по безопасност*, методи за *популяризиране на безопасността*.

Подобряването на безопасността се постига чрез изграждането на система за наблюдение дейността посредством вътрешни и външни одити, и корективни действия.

Управлението на пътната безопасност е свързано със съществуващите взаимовръзки между човек, машина и околна среда, като всяка такава взаимовръзка може да бъде източник на риск. Безопасността на пътното движение зависи от безотказната работа на всички елементи на системата „водач-автомобил-път” (ВАП) и взаимодействието им с околната среда [3,7]. Произлизащите рискове от това взаимодействие могат да бъдат определени и оценявани само след провеждане на качествен и подробен анализ. Например, трудове [8,9] разглеждат подходи и методи за управление на финансовия риск в транспорта. Информацията относно някои екологични и социални показатели е представена в [10]. Важни фактори и показатели на безопасността са представени в трудове [7,11]. Цялостната транспортна среда и организацията на движението в градовете се разглежда в [12], а планирането и проектирането на комуникационно-транспортните системи на урбанизираните територии в [13]. Във връзка със системата «ВАП», факторите влияещи върху нея, могат да се разделят по следния начин:

- инженерни фактори: геометрия на пътя и елементите му, състояние на пътната настилка, съоръжения за подпомагане на правлението и движението (уширения, защитни огради и др.);

- фактори, свързани с околната среда (видимост, заледяване, животни пресичащи пътя, експлоатационни условия (задръствания и др.);

- фактори, свързани с осъществяването на пътен контрол: честота на разположение на пътната полиция, условия за отнемане на шофьорска книжка и др.;

- фактори, свързани с характеристиките на водача: достатъчно ниво на обучение за безопасно движение по пътя, възраст, трезвост, умения в шофирането, умора и др.;

- фактори, свързани с характеристиките на превозното средство: възраст, характеристики, свързани с безопасността, размери и др.;

- фактори, свързани със закона и регулирането на пътното движение: ограничения на скоростта, размери на тежкотоварни автомобили, маркировки и др.

*Влияещите фактори върху безопасността* са система от характерни явления и условия, които оказват въздействие върху транспортния процес [11]. Най-общо се различават четири групи влияещи фактори:

- технически фактори – включват се всички технически откази на транспортните средства и инфраструктурата;

- субективни фактори – всички грешки на човека (водач или организатор на транспортния процес);

- организационни (технологични) фактори – включват се всички недостатъци и несъвършенства на технологията, организацията и управлението на транспортния процес;

- извънсистемни фактори – влияние на околната среда (атмосферни условия, взаимодействие с други видове транспорт и други).

## **2.2 Методи за управление на безопасността**

Съществуващите методи се делят на *количествени методи (включващи и статистическите)* и *косвени методи*. *Количествените (в частност статистическите) методи* позволяват да се получи най-обобщаваща и точна оценка за безопасността на движението. *Косвените методи* за оценяване на безопасността на движението имат едно много важно предимство пред статистическите – не са необходими статистически данни за ПТП. **Към косвените методи спадат:** 1) *Метод на конфликтните точки*- [14, 15] използва се за оценяване на възможната степен на опасност на кръстовище или пътен възел; 2) *Метод на конфликтните ситуации* - един от най-прилаганите и най-перспективните методи за визуална оценка на безопасността на движението; 3) *Метод „шум на ускорението“*- в основата на метода е заложена хипотезата, че движението с постоянна скорост е по-безопасно; 4) *Методи на комплексните измервания*- в тези методи [16,17] се използват количествени показатели, които се получават от стойностите на различни параметри на движението (време, път, скорост, отклонение при движение и др).

Целта на **количествените** методи е да се получат оценки на абсолютни и относителни показатели на безопасността. Към количествените анализи може да бъде причислено така нареченото "*директно сравнение на броя произшествия*".

- *топографски анализ*- целта му е да се определят участъците с концентрация на ПТП. Използват се още: *анализ на очакваните стойности* и *кълстерен анализ*.

- *статистическо сравнение* – чрез статистически тестове, се сравнява нивото на безопасност между два или повече участъци или за оценка на въздействието на една или повече променливи върху появата на ПТП. Примери за такива тестове са: Т-тест за сравнение на две средни стойности, тест за пропорционалност за сравняване на две пропорции, Крускал - Уолис Н- тест, както и емпиричният метод на Бейс. Първите три от тези четири тестове се използват за проверка на хипотези;

- *анализ на безопасността на движението*- извършва се чрез коефициент на тежест на последствията и коефициент на смъртност при пътнотранспортни произшествия;

- *идентифициране и приоритизиране на опасни места и елементи*- използва се техника за идентифициране на възможни опасни места, известна като критичен метод

или метод за определяне на критичното ниво на произшествията, (Critical Crash Rate) [18].

Съществуват и анализи, които се ползват успешно в теорията и практиката както на надеждността, така и на безопасността- такива са анализ чрез граф на отказите (Fault Tree Analysis и граф на събитията (Event Tree Analysis) и др. За приложение на графови структури и техните показатели се говори в [3,19,20]. Освен по-горе изброените методи и анализи съществуват и иновативни такива, свързани с прогнозирането на произшествия. Такъв метод е предложен в следващата точка.

### **3. АДАПТИРАНЕ НА МЕТОДИКА ЗА СЪЗДАВАНЕ НА МОДЕЛИ ЗА ПРОГНОЗИРАНЕ НА ПРОИЗШЕСТВИЯТА НА КРЪСТОВИЩА В ГРАД СОФИЯ**

Моделирането на влияещите фактори върху безопасността по пътищата, не е в основата на планирането и управлението на трафика в градовете. Проведеното проучване на литературните източници и научни разработки в областта на моделите за прогнозиране броя на произшествията (Accident Prediction Models) показва, че с най-широко приложение е моделът от вида биномна регресия (3.1), [21,22, 23]:

$$(3.1) N_i = e^{(b_0 + b_1 X_1 + \dots + b_n X_n)}, \text{ [прогнозен брой ПТП за кръстовище/период]}$$

където:

$N_i$  – прогнозен брой произшествия;

$b_0 \dots b_n$ , коефициенти на уравнението, определени въз основа на наличните статистически данни.

Целта на статистическите модели от този тип е да допринесат до разкриване на връзката между функцията на очаквания брой ПТП,  $N_i = m_i$ , на  $i$ -то кръстовище с „ $n$ ” на брой параметри на кръстовището:  $X_1, X_2, \dots, X_n$  (описващи геометричния дизайн, типа на контрол на трафика, обема на транспортните потоци и др). Избран е логнормален регресионен модел. Логнормалните регресионни модели от този тип се базират на приемането, че натуралния логаритъм на  $N_i$  следва Нормално разпределение със средна стойност  $m_i$  и дисперсия  $\sigma^2$ . Моделът предполага положителност на резултатите за прогнозен брой ПТП, положителна асиметрия и математическото очакване е сравнително голямо. Разработен е модел за прогнозиране на пътнотранспортните произшествия на базата на използването на корелационен анализ, многофакторна стъпкова регресия и биномна регресия. Повечето от моделите [21] са с променливи, свързани само със среднодневен брой превозни средства и геометрия на кръстовищата (брой ленти за движение за подход, тип на кръстовището и т.н.). Конкретно в случая е избран „Модел на прогнозиране на произшествията с произволен ефект на влияещите фактори” (Random Effect Prediction Model), който е наречен така заради включването на различни по произход променливи, влияещи на произшествията [22, 23].

#### **3.1. Теоретична постановка**

След направено проучване се предлага следната последователност за изчисляване на прогнозния брой произшествия със загинали и ранени на даден вид кръстовище:

1) Събиране на статистически данни за параметрите на кръстовищата – един от най-трудните етапи.

2) Определяне на броя променливи, които да бъдат включени в моделите за прогнозиране на произшествията (съставяне на един модел за два подтипа кръстовища)

Приложението на модела се извършва за два варианта кръстовища-четириклонни и триклонни (описани с тези наименования в [13]), за които са събрани статистически данни:

- регулирани със светофарна уредба четириклонни кръстовища (разгледани са общо 74 броя кръстовища с 21 фактори (първоначален брой));

- регулирани с пътни знаци триклонни кръстовища (62 броя с 15 фактори).

3) *Определяне на факторите, влияещи върху безопасността* - част от факторите, включени в моделите е възможно да не влияят достатъчно върху пътната аварийност и трябва да бъдат премахнати от моделите.

4) *Използване на корелационна матрица за пресяване на независимите променливи*- премахване на една от всеки две променливи (фактори) със силна корелация помежду им (над 0,5). След премахването им в първия модел остават 17 променливи (общо), а във втория- 14 променливи (общо).

5) *Прилагане на многофакторна стъпкова регресия за получаване на регресионно уравнение с влияещите фактори* - използвани се два софтуерни продукта - Statgraphics и Statistica 7, като се прилага многофакторна стъпкова регресия напред. Получените резултати от двата продукта се сравняват и се избира този модел, който е с по- висок  $R^2$ .

6) *Извеждане на регресионно уравнение за прогнозиране на броя произшествия* – получаване на коефициентите на биномното уравнение.

7) *Проверка за значимост*- на база на получените параметри на уравнението се проверява значимостта на резултатите чрез критерий на Фишер.

### 3.2. Практическо приложение

*След осъществяване последователно на всички операции от предходната точка се получават следните резултати:*

*Модел 1. Произшествия със загинали и ранени с участието на превозни средства на четириклонни кръстовища със светофарна уредба:*

$$(3.2) N_{1,i} = e^{(-1,05687+0,00002X_1+0,00002X_2+0,00001X_3+0,03898X_4+0,09062X_5+0,35291X_6+0,06340X_7+0,08438X_8-0,09634X_9)}, \text{ [брой ПТП/3 год.]}$$

където:

$N_{1,i}$  - прогнозен брой пътно-транспортни произшествия със загинали и ранени за тригодишен период на дадения вид кръстовища;

$X_1$  - интензивност на движението по главния път (среднодневен брой превозни средства),

$X_2$  - интензивност на движението по второстепенния път (среднодневен брой превозни средства);

$X_3$  - интензивност на пешеходното движение по главния път (пешеходци на ден)

$X_4$  - брой конфликтни точки;

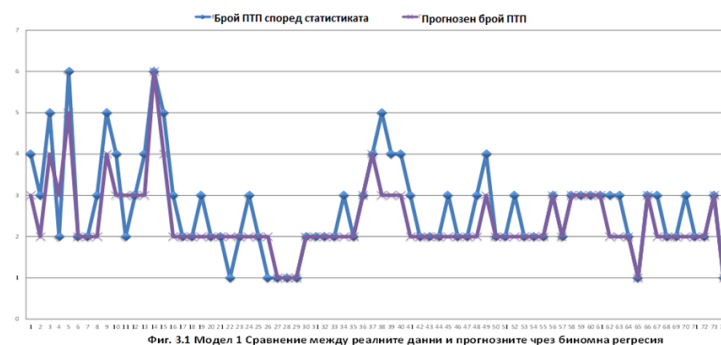
$X_5$  - брой ленти за платно на второстепенния път;

$X_6$  - широчина на лентата на второстепенния път;

$X_7$  – отделна лента за ляв завой на второстепенния път;

$X_8$  - отделящи пространства (мантинели, острови) по второстепенния път;

$X_9$  - наличие на пешеходна пътека на второстепенния път.



Фиг. 3.1 Модел 1 Сравнение между реалните данни и прогнозите чрез биномна регресия

$$R^2 = 0,9047257.$$

Сравнение между реалната статистика за броя произшествия на изследваните кръстовища и прогнозните резултати са представени на фиг. 3.1.

*Модел 2. Произшествия със загинали и ранени с участието на превозни средства на триклонни регулирани с пътни знаци кръстовища:*

Видът на модела за този вид произшествия е както следва (3.3):

$$(3.3) N_{2,i} = e^{(-3,78424+0,00004X_1+0,00002X_2+0,00004X_3+1,31737X_4+0,08515X_5-0,14549X_6)} \quad , \text{ [брой ПТП/3 год.]},$$

където:

$N_{2,i}$  - прогнозен брой пътно-транспортни произшествия със загинали и ранени за тригодишен период на дадения вид кръстовища;  
 $X_1$  - интензивност на движението по на главния път (среднодневен брой превозни средства);

$X_2$  - интензивност на движението по второстепенния път (среднодневен брой превозни средства);

$X_3$  - интензивност на пешеходното движение по второстепенния път (пешеходци на ден);

$X_4$  - широчина на лентата на второстепенния път;

$X_5$  - отделни ленти за десен завой по главния път;

$X_6$  - наличие на пешеходна пътека на главния път.

$$R^2 = 0,83572855.$$

Резултатите са представени на фиг. 3.2.

За модели 1 и 2 е извършена проверка за значимост чрез критерий на Фишер. Получената стойност  $F$  и за двата модела е значително по-голяма от критичната. Това доказва значимостта на моделите. Факторите, които е необходимо да бъдат включени задължително при разработката на модели за прогнозиране на произшествията са: интензивност на движението по главния път (среднодневен брой превозни средства), интензивност на движението по второстепенния път (среднодневен брой превозни средства), интензивност на пешеходното движение (среднодневен брой пешеходци), брой конфликтни точки (за модел 1), широчина на лентата за движение, наличие на пешеходна пътека.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В тази статия се разглеждат факторите, които влияят на безопасността на движението и теоретично са представени методи за оценка на безопасността. Предложена е методика за създаване на модели за прогнозиране на произшествията в град София за четириклонни кръстовища със светофарна уредба и за триклонни кръстовища с пътни знаци. Получените резултати и сравнения между реалните статистически данни и прогнозния брой произшествия показват недвусмислено, че при наличие на достатъчна информация, тези модели могат да бъдат използвани успешно и в български условия и да спомогнат за подобряване на пътната безопасност.



Фиг. 3.2 Модел 2 Сравнение между реалните данни и прогнозните чрез биномна регресия

## ЛИТЕРАТУРА

- [1] Статистически данни за пътната безопасност в Европейския съюз <http://ec.europa.eu/eurostat/>
- [2] Пътнотранспортни произшествия в Република България 2017. Министерство на вътрешните работи. София, 2018 г.  
<http://www.nsi.bg/sites/default/files/files/publications/ptp2017.pdf>
- [3] Николай Георгиев. Интегриран и системен подход към експлоатационната безопасност на железопътния транспорт. ВТУ „Тодор Каблешков”. 2011.
- [4] Георгиев, Н., В. Вельова. Възможности за подобряване на безопасността в железопътните предприятия. Научно списание “Механика Транспорт Комуникации” – том 16, брой 3 /1, 2018. ISSN 1312-3823 (print), ISSN 2367-6620 (online) art. ID:1611. Банско 2018 г.
- [5] Georgiev, N. Knowledge management system for improvement of quality of railway transport service. XXI International Scientific-technical Conference “Trans&Motauto”, Varna, 2013.
- [6] Georgiev, N. Use of scientific approaches and methods for performance improvement of safety management systems in railways. XXII International Scientific-Technical Conference “Trans&Motauto”, Varna, 2014.
- [7] Райков, Р.Г., Георгиев, Н.Д., Стойков, Д.С., Беров, Т.Д., Стоянов, И.П. „Техническа експлоатация и безопасност в транспорта”. София, 2002 г.
- [8] Vaysilova, E., Development of Management Decisions in the Conditions of Economic Risk, The 23th International Scientific Conference “Crisis Situations Solution in the Specific Environment”, 23th and 24th May 2018, Zilina, Slovakia, 2018
- [9] Vaysilova E., Assessment and Management of Enterprise Liquidity in Conditions of Crisis. The Twenty International Scientific Conference Crises Situations Solution in the Specific Environment, Zilina, Slovakia, E.U.; 20–21 May 2015.
- [10] Vaysilova, E., Integrated report - a new challenge for the undertakings in the transport sector of Republic of Bulgaria, Second International Conference “Transport for Today’s Society”, 17-19 May 2018, Republic Macedonia. 2018
- [11] Вельова, Виолина. Дисертационен труд на тема: „Изследване влиянието на параметрите на трафика и инфраструктурата върху транспортната безопасност” и автореферат към него. Научен ръководител: проф. д-р инж. Николай Георгиев. ВТУ «Тодор Каблешков». София. 2017.
- [12] Карагъзов, К, М. Тодорова, З. Трендафилов, Т. Беров, А. Борисов, П. Стоянова, В. Вельова. Проект: “Динамично адаптивно управление и регулиране на трафика в града и проектиране на логистични мрежи устойчиви на стохастични въздействия”. ВТУ „Тодор Каблешков“. 2017.
- [13] Наредба №2 от 29 юни 2004 г. за планиране и проектиране на комуникационно-транспортните системи на урбанизираните територии. Министерство на регионалното развитие и благоустройството. София. Изм. и доп. ДВ. бр.33 от 25 Април 2017г.
- [14] Шештокас В.В. и др. Конфликтные ситуации и безопасность движения в городах, м., Транспорт, 1987 г.
- [15] Файнър, М., Генерален план за организация на движението на територията на Столична община, доклад етап 1 – анализ, Столична община, ноември 2009.
- [16] Hodge G.A. and Richardson A.J., The Role of accident exposure in transport system safety Evaluations II: Group Exposure and Induced Exposure, Journal of Advanced Transportation 19, 1985, 201-213 pp.
- [17] Maher M.J. and L.J. Mountain, The Identification of accident Black spots: a comparison of current methods, acid. Analisis and Prev. Val 20, № 3. 1988.



- [18] Garber, N.J., H.A. Lester. Traffic & Highway Engineering. Fourth Edition. Virginia, USA. 2009
- [19] Dimitrova E., P. Atanasov, Dynamic fault tree. computation of parameters – part I, and Dynamic fault tree. computation of parameters – part II IX International Triennial Conference “Heavy Machinery HM 2017”, Zlatibor, Serbia, June 28 – July 1 2017, Proceedings, ISBN 978-86-82631-89-7, pp. B109-B114 and pp. B115-B122
- [20] Dimitrova E., P. Atanasov, Methods for quantitative analysis of dynamic fault trees, IX International Scientific Conference on Aeronautics, Automotive and Railway Engineering and Technologies “BulTrans-2017”, Sozopol, Bulgaria, 11-13.09.2017, Proceedings, ISSN 1313-955X, pp. 101-103
- [21] Canale, S., Leonardi, S., Pappalardo, G. The reliability of urban road network: Accident forecast models. Dipartimento di Ingegneria Civile e Ambientale. Università degli Studi di Catania. 2003.
- [22] Project No. FP6-2004-IST-4 027763. Deliverable 1.3. Road users and accident causation. Part 3: Summary report.
- [23] Zhuanglin Ma, Honglu Zhang, Rui Qiao, and Yang Yang. Modeling Traffic Accident Frequency on a Freeway Using the Random Effect Negative Binomial Model. CICTP 2015: 3017-3026. 2015.

## **TOWARDS THE INFLUENCE OF TRAFFIC AND INFRASTRUCTURE CHARACTERISTICS ON TRAFFIC SAFETY**

**Nikolay Georgiev, Violina Velyova**  
[ngeorgiev@vtu.bg](mailto:ngeorgiev@vtu.bg), [vili\\_tuk@abv.bg](mailto:vili_tuk@abv.bg)

*Todor Kableshkov University of Transport*  
*1574 Sofia, 158 Geo Milev str.*  
**BULGARIA**

**Key words:** *transport, road safety, infrastructure, approaches and methods*

**Abstract:** *According to the existing statistics in Bulgarian conditions, the most frequent traffic accidents are related to accidents between different road users. The most common occurrences are of the following types: accident between two or more vehicles, with the participation of vulnerable road users - pedestrians, cyclists, motorcyclists and single vehicle accidents (strike into an element of the infrastructure or into an element of the surrounding environment). Bulgaria's position compared to the other countries in the European Union requires a thorough examination of all the possibilities for improving traffic safety.*

*The current article discusses and examines key safety factors related to the interconnections between the driver, the vehicle, the road and the surrounding environment. There are summarized some of the existing methods of road safety assessment used in the world practice. On the basis of studied literary sources, the sequence of the operations necessary for the successful creation of an accident prediction models is presented. Two types of accident prediction models with the corresponding number of variables are proposed: accident prediction model for four-legged intersections signalized with traffic lights and respectively- the other type is for three-legged intersections with traffic signs.*